第 18 講　惑星の運動と見え方
PART1 地球の自転と公転

目標　地球が自転や公転をしていることの証拠について，それぞれ説明できる。

Chapter1　地球の自転

地球に昼と夜があるのは，地球が自転しているからです。ここでは，地球の自転を確認する方法について学びましょう。

地球の自転とその証拠

・**地球の自転**

地球は，北極と南極を通る軸を中心として約 1 日周期で回転している。これを**自転**という。

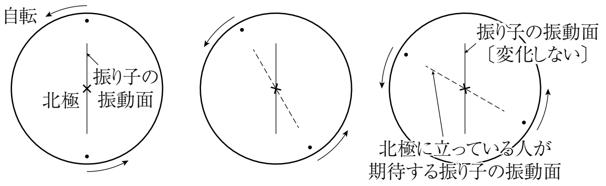
・**フーコーの振り子**

振り子のおもりにかかる力が重力と糸の張力だけだったとすると，振り子の振動面は変化しない。ところが，実際に長い時間振り子を振動させて地球上で観察すると，北半球では振動面が時計回りに回転していく。これは，運動する物体に対して右向きの（遠心力 / 転向力）がはたらいているためだと考えることができる。この見かけの力は地球が自転しているために生じるものであり，振動面の回転は地球の自転の証拠となる。この巨大な振り子を**フーコーの振り子**という。

知っておこう

1851 年，フランスのフーコー(Jean Bernard Léon Foucault) は，パリにあるパンテオンという当時教会として用いられていた建築物の中で，長さ 67m に及ぶ巨大な振り子を振らせて振動面の変化を示す実験を行いました。

北極の上空から自転の影響を受けずに観測したときの見え方



まとめ

・地球は北極と南極を通る軸を中心として約 1 日周期で回転しており，これを自転という。
・振り子を長い時間振動させて地球上で観察すると，北半球では振動面が______回りに回転するように見える。
・これは地球が自転していることを示し，__________の振り子と呼ばれている。

Chapter2　地球の公転

地球は太陽のまわりを運動していますが，地球から見ると，太陽が地球のまわりを動いているようにも見えます。ここでは，地球の公転運動を確認する方法について学びましょう。

地球の公転とその証拠

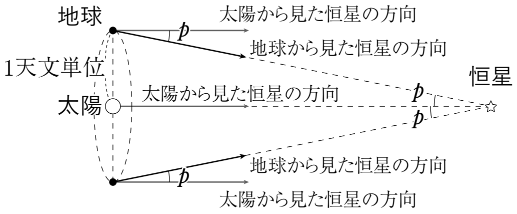
・地球の公転

地球は太陽のまわりを約 1 年周期で円を描くように運動している。これを**公転**という。

・年周視差

太陽と地球は離れているため，太陽から見たときと地球から見たときで，恒星の見える方向が少しだけ異なる。地球は 1 年周期で公転しているため，恒星の見える向きも 1 年周期で変化する。この 1 年間に生じるずれの角度の半分〔図の p〕を**年周視差**という。年周視差の存在は，地球の公転を示す証拠となる。

年周視差の大きさは，天体までの距離に（よらず一定である / 比例する / 反比例する）。



・年周光行差

光は有限の速さで進むため，観測者が恒星からの光を横切る方向に高速で移動するとき，光の進行方向は実際の進行方向とずれて見える。地球は 1 年周期で公転しているため，光の進行方向と地球の移動方向との関係が 1 年周期で変化し，光の進行方向のずれも 1 年周期で変化する。このずれの大きさ〔図の θ〕を**年周光行差**という。年周光行差の存在は，地球の公転を示す証拠となる。

知っておこう

1838 年，ドイツのベッセル (Friedrich Wilhelm Bessel) は，はくちょう座 61 番星の年周視差を 0.3136 秒角とする論文を発表しました。この値は最新の研究による値（0.2860 秒角）と約 10% しか違わず，この論文は恒星の年周視差を正確に求めた最初の論文とされています。

覚えておこう

天文分野では，非常に小さな角を扱います。小さな角を表すとき，「分角」あるいは「秒角」が用いられることがあります。

1° =60′（分角）

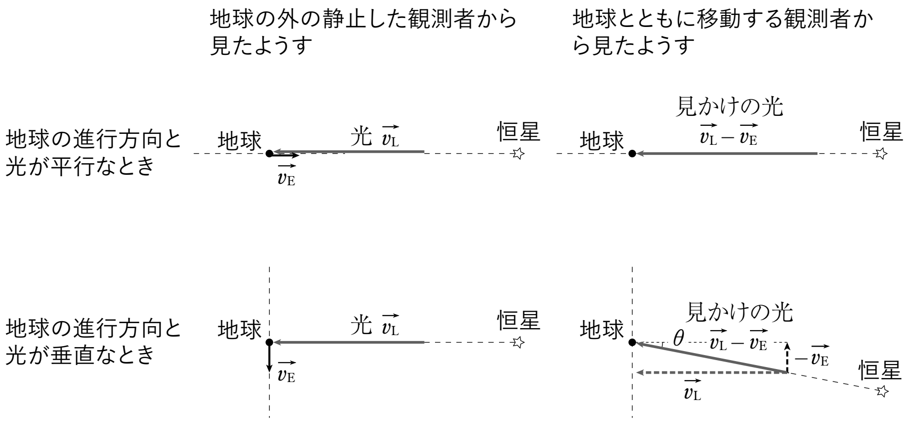
1′ =60′′ (秒角)

という関係を覚えておきましょう。

知っておこう

年周視差と恒星の距離との関係については，別の Part で詳しく学びます。

年周光行差の 1 年間における最大値は，天体までの距離に（よらず一定である / 比例する / 反比例する）。



まとめ

- 地球は太陽のまわりを約 1 年周期で円を描くように運動しており，これを＿＿＿＿という。
- 太陽と地球は離れているため，地球から恒星の見える方向は 1 年周期で変化して見える。
- このずれの角度の半分を＿＿＿＿といい，天体までの距離に＿＿＿＿。
- 光は有限の速さで進み，地球はそれに対して無視できない程度の高速で移動しているため，光の進行方向は実際の進行方向とずれて見える。
- このずれの大きさを＿＿＿＿といい，1 年間における最大値は天体までの距離に＿＿＿＿。

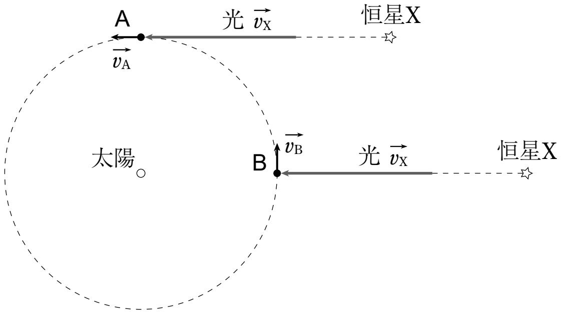
知っておこう

1729 年，イギリスのブラッドレー（James Bradley）は，年周光行差の理論と観測結果に関する論文を発表しました。彼はりゅう座 γ 星の年周視差を測定しようと試みる過程で年周光行差を発見しました。さらに，他のいくつかの恒星の観測とあわせて，年周光行差の 1 年間における最大値がどの恒星でも 20 〜 20.5 秒角であることを確認しました。

また，彼は観測結果をもとに年周視差が 1 秒角を超えないと考え，恒星は 40 万天文単位より遠い場所にあると予想しました。

Chapter3　演習問題

次の図は，年周光行差について考えるための模式図であり，太陽や恒星 X が動かないと考えて描いたものです。ここでは，この図を参考にして年周光行差について確認しましょう。



問題(1)　年周光行差について述べた次の文章中の空欄［　ア　］・［　イ　］に入る式を答えましょう。また，（　　　）について，正しいものを選びましょう。

地球の公転軌道と同じ平面上の，地球から十分離れた場所に恒星 X があるとする。このとき，地球の公転軌道において，恒星 X からの光は平行光線とみなすことができる。

地球が A の位置にあるとき，恒星 X からの光 $\overrightarrow{v_X}$ は，地球の公転 $\overrightarrow{v_A}$ とちょうど同じ向きである。このとき，地球から見た恒星 X からの光を表すベクトルは［　ア　］である。このベクトルの向きは $\overrightarrow{v_X}$ と同じであり，地球から見た恒星 X の方向は，太陽から見た恒星 X の方向と同じである。

地球が B の位置にあるとき，恒星 X からの光 $\overrightarrow{v_X}$ は，地球の公転 $\overrightarrow{v_B}$ と直交している。このとき，地球から見た恒星 X からの光を表すベクトルは［　イ　］である。このベクトルの向きは $\overrightarrow{v_X}$ と異なっており，地球から見た恒星 X の方向は，太陽から見た恒星 X の方向を基準として地球の進行方向と（同じ向き / 逆向き）にずれている。

知っておこう

アインシュタインの特殊相対性理論によれば，光に対して左のようなベクトルの足し算を考えるのは不適切です。しかし，地球の公転速度程度の運動であれば，左のように考えても十分よい近似になることが知られています。

問題⑵　年周光行差について述べた次の文章中の空欄［　**ウ**　］に入る式および［　**エ**　］・［　**オ**　］に入る数値を答えましょう。ただし，［　**オ**　］は上から3桁の概数で答えましょう。

地球がBの位置や，太陽をはさんでBと反対の位置にあるとき，年周光行差の大きさは1年のうちで最大となる。その大きさをαとして，光速度をc，地球の公転速度をvとすると，［　**ウ**　］＝ tan αと表せる。

ここで，αを弧度法で表すと，αが十分小さければ tan $\alpha = \alpha$と近似できることが知られている。年周光行差の大きさは十分小さいので，［　ウ　］＝αと近似できることになる。

1° ＝［　**エ**　］秒角，$180^\circ = \pi$ ラジアンであることから，年周光行差の大きさの最大値20.5秒角は［　**オ**　］π ラジアンと表せる。すなわち，［　ウ　］＝［　オ　］π である。

問題⑶　年周光行差と光速度について述べた次の文章中の空欄［　**カ**　］・［　**キ**　］に入る式および［　**ク**　］～［　**コ**　］に入る数値を答えましょう。ただし，［　**ク**　］は上から3桁の概数，［　**ケ**　］・［　**コ**　］は整数でそれぞれ答えましょう。

地球の公転半径をr，公転周期をT，公転速度をv，円周率をπとすると，r ＝［　**カ**　］と表せる。よって，光速度をc，光の太陽から地球までの所要時間をtとすると，t ＝［　**キ**　］と表せる。

地球の公転周期を365日とするとT ＝［　**ク**　］秒なので，**問題⑵**の結果を用いるとt ＝［　**ケ**　］分［　**コ**　］秒と求められる。

知っておこう

ここで行った計算は，ブラッドレーが行ったものと基本的に同じものです。

　彼は年周光行差の測定によって地球が公転していることを示しただけでなく，光速度がどのような値なのか（太陽から地球までの距離を進むためにどれだけの時間がかかるのか）も正確に求めたのです。

第 18 講　PART1　確認問題

問 1　次の文章を読み，下の問いに答えよ。

地球の（　ア　）について，初めて実験で証明したのは（　イ　）で，巨大な振り子を振らせて，a振動面が回転していくことを示した。

地球の（　ウ　）を示す証拠に，年周視差と年周光行差があり，それぞれ（　エ　）とブラッドレーによって発見された。年周視差は，地球から見た恒星の方向が 1 年周期で変化するときの角度のずれで表され，恒星までの距離に（　オ　）。年周光行差は，地球から見た恒星からの光の進行方向が 1 年周期で変化するときのずれの大きさで表され，その最大値は恒星までの距離に（　カ　）。

(1)　空欄ア，イに入る語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ア：自転　　イ：ガリレオ
②　ア：自転　　イ：フーコー
③　ア：公転　　イ：ガリレオ
④　ア：公転　　イ：フーコー

(2)　下線部 a について，北半球での振動面の回転の向きと，その原因となる力の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　回転の向き：時計回り　　力：遠心力
②　回転の向き：時計回り　　力：転向力
③　回転の向き：反時計回り　　力：遠心力
④　回転の向き：反時計回り　　力：転向力

(3) 空欄ウ，エに入る語句の組合せとして最も適当なものを，
次の①～④のうちから一つ選べ。

①	ウ：自転	エ：ベッセル
②	ウ：自転	エ：ケプラー
③	ウ：公転	エ：ベッセル
④	ウ：公転	エ：ケプラー

(4) 空欄オ，カに入る語句の組合せとして最も適当なものを，
次の①～④のうちから一つ選べ。

①	オ：比例する	カ：反比例する
②	オ：比例する	カ：関係なく一定である
③	オ：反比例する	カ：反比例する
④	オ：反比例する	カ：関係なく一定である

第 18 講　惑星の運動と見え方

PART1　地球の自転と公転

問題(1)　ア：$\overrightarrow{v_X} - \overrightarrow{v_A}$　イ：$\overrightarrow{v_X} - \overrightarrow{v_B}$

同じ向き

問題(2)　ウ：$\dfrac{v}{c}$　エ：3600　オ：3.16×10^{-5}

問題(3)　カ：$\dfrac{vT}{2\pi}$　キ：$\dfrac{vT}{2\pi c}$　ク：3.15×10^{7}　ケ：8　コ：18

PART2　ケプラーの法則

問題(1)　焦点の 1 つ，1.2 倍

問題(2)　1.2 倍

問題(3)　ア：1　イ：$\sqrt[a]{a}$

長い，内側，外側

PART3　天球と太陽の動き

問題(1)　一致，反時計回り，西から東，赤道面上

問題(2)　【※図参照】

問題(3)　反時計回り，西から東，夏

問題(4)　【※図参照】

PART4　時刻と暦

問題(1)　進んでいる，近日点と遠日点，a，二至二分， b

ア：12　イ：0　ウ：15　エ：11　オ：45　カ：135　キ：20

遅れて

ク：11　ケ：25

問題(2)　コ：1460.9688　サ：365.25　シ：146096.8800　ス：97　セ：100

ソ：3　タ：100　チ：400　ツ：365.2422

PART5　惑星の視運動

問題(1)　0^{h}，2^{h}，$18^{\mathrm{h}} \sim 20^{\mathrm{h}}$，2022 年 10 月，内合，外合，19 か月

問題(2)　約 12^{h} 異なる，正反対の，2023 年 11 月，25 か月

問題(3)　ア：$\dfrac{1}{P_{\mathrm{A}}}$　イ：$\dfrac{1}{P_{\mathrm{B}}}$　ウ：$\dfrac{t}{P_{\mathrm{A}}}$　エ：$\dfrac{t}{P_{\mathrm{B}}}$　オ：1　カ：$\dfrac{1}{P_{\mathrm{A}}} - \dfrac{1}{P_{\mathrm{B}}}$

第 18 講　PART1　確認問題　解答

問 1

(1)　②

解説：

地球の自転を振り子の実験によって証明したのは，フランスのフーコーである。

(2)　②

解説：

振り子の振動面が変化するのは，地球の自転による転向力という見かけの力がはたらいているためである。

(3)　③

解説：

年周視差と年周光行差は，地球が公転していることの証拠である。それぞれ，ベッセルとブラッドレーによって発見された。

(4)　④

解説：

年周視差は，恒星までの距離が大きいほど小さくなる（反比例する）。年周光行差の最大値は，恒星までの距離によらず一定である。